Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 5, Dec.-Jan., 2023, p. 809-828

Analysis of Crop Precipitation and Its Extreme Events in Markazi Province During the Statistical Period of 1991-1992 to 2020-2021

S. Khansalari[1*], M. Omidi[2], M. Fallahzadeh[3]
1- Assistant Professor in Meteorology, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran
(*- Correspounding Author Email: Khansalari@yahoo.com)
2 and 3- Markazi Province Meteorological Administration, Arak, Iran

Received: 13-09-2023 Revised: 28-10-2023 Accepted: 07-11-2023 Available Online: 07-11-2023	**How to cite this article:** Khansalari, S., Omidi, M., & Fallahzadeh, M. (2023). Analysis of Crop Precipitation and its Extreme Events in Markazi Province during the Statistical Period of 1991-1992 to 2020-2021. *Journal of Water and Soil, 37*(5), 809-828. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84421.1332

Introduction

Due to global warming and climate change, droughts and extreme precipitation events are increasing. Therefore, it is of special importance to know the characteristics of precipitation in the region in order to manage water resources effectively especially during torrential rainfall events. This can help to reduce the risk of these events and increase water reserves with proper management. These precipitation characteristics which are the objectives of the present study, include the temporal-spatial distribution of precipitation in different parts of the study area, as well as the number of days with and without precipitation and the maximum precipitation occurring in the region. Also, these precipitation characteristics should give us information about extreme precipitation events.

Materials and Methods

This research analyzed the characteristics of precipitation in Markazi province over a 30-year period (from the crop year 1991-1992 to 2020-2021) using statistical methods and the spatial distribution was drawn and analyzed with ArcGIS software. This province includes the 12 meteorological stations of Arak, Mahalat, Saveh, Tafresh, Ashtiyan, Komeijan, Khondab, Shazand, Khomein, Delijan, Farmahin and Gharqabad, which the precipitation data of these stations were investigated. The trend of precipitation changes in monthly, seasonal, and annual time scales were also examined using the Mann-Kendall test. Moreover, extreme precipitation was assessed using four indices: total extreme precipitation (R95p), number of days with precipitation above the station’s extreme precipitation threshold (R95d), absolute intensity of extreme precipitation (AEPI) and the fraction of total rainfall from events exceeding the extreme threshold (R95pT). The latter index represents the ratio of extreme precipitation to annual precipitation in rainy days (daily rainfall above 1 mm).

Results and Discussion

This study reveals that, on average, 53% of the annual precipitation is accounted for by the maximum index of R95pT, which indicates the percentage of extreme precipitation that occurred at each station relative to its the precipitation of the corresponding year. Knowing the timing of these extreme events can help to manage floods and optimize water resources. More than 20% of these precipitations occurred in March. The spatial distribution of rainfall in Markazi province shows that the south-west regions have the highest average annual and seasonal rainfall, except for the summer season, while the eastern regions have the lowest. The winter season has the highest rainfall on average, followed by spring and autumn. March is the rainiest month with a coefficient of variation of 0.8 and an average

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84421.1332

monthly rainfall of 55.6 mm during the studied period. Due to most extreme precipitation events occurring in this month, it has the highest importance for water storage and management throughout the year. The average precipitation in March ranges from 32.6 mm (Saveh station) to 91.6 mm (Shazand station) across the stations of the province. The maximum rainfall in this month varies from 124.4 to 254.6 mm among the stations of the Markazi province, which is a considerable amount compared to the provincial average crop year. The standard deviation of precipitation in this month is between 28.7 and 61.3 mm, and the coefficient of variation at the stations of the province is between 0.6 and 0.9. Moreover, in terms of average monthly rainfall 22Nov-21Dec, 20Feb-19Mar, and 23Oct-21Nov are the next priority months for water storage management after 20Mar-19Apr, with average monthly rainfall of 39.3, 38.2, and 36.3 mm, respectively. The Mann-Kendall non-parametric test results did not reveal a consistent trend, but it showed that most of the meteorology stations in Markazi province had a significant decreasing trend in the rainfall in 21Jan-19Feb at a 90% confidence level. The analysis of extreme precipitation indices indicated that Shazand station had the highest extreme precipitation threshold value (28 mm), while Saveh and Delijan stations had the lowest (15 mm). The extreme precipitation threshold average of 30 years in other meteorological stations of Markazi province are 21mm in Arak, 17mm in Tafresh, 21mm in Khomeyn, 19mm in Mahallat, 17mm in Komeijan, 16mm in Farmahin, 21mm in Khondab, 17mm Gharqabad and 18mm in Ashtiyan.

Conclusion

The spatial distribution of rainfall in Markazi Province shows that the southwest regions have the highest average annual and seasonal precipitation, except for summer, while the east regions have the lowest. The average monthly rainfall also indicates that March has the highest rainfall among all months of the year, and that about 20% of the annual extreme precipitation occurs in this month.

Keywords: Characteristics of precipitation, Extreme precipitation, Global warming, Extreme precipitation indices, Markazi province

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۲، ص. ۸۲۸-۸۰۹

ویژگی‌های بارش زراعی و فرین‌های آن در استان مرکزی در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹

سکینه خان‌سالاری[۱*] - محمود امیدی[۲] - مژگان فلاح‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶

چکیده

با توجه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و افزایش خشکسالی و رخدادهای بارشی فرین، آشنایی با ویژگی‌های بارش منطقه به منظور مدیریت منابع آب، به‌ویژه در زمان وقوع بارش‌های سیل‌آسا و تبدیل خطرآفرینی این رخدادها به افزایش ذخایر آبی با مدیریت صحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر ویژگی‌های بارش در استان مرکزی در دوره آماری ۳۰ ساله (از سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹) با روش‌های آماری، مورد تحلیل و سپس با نرم افزار ArcGIS توزیع مکانی آنها ترسیم و بررسی شد. همچنین روند تغییرات بارش در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این بارش فرین بااستفاده از چهار شاخص بارش فرین شامل مجموع بارش فرین (R95p)، تعداد روزهایی که در سال مورد بررسی، مقدار بارش در آنها از آستانه بارش فرین آن ایستگاه بیشتر باشد (R95d)، شدت مطلق بارش فرین (AEPI) و کسری از کل بارندگی ناشی از رخدادهای فراتر از آستانه بارش فرین (R95pT) که بیانگر نسبت بارش فرین به بارش سالانه در روزهای بارانی (بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر) است، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد به‌طور متوسط بیشینه شاخص R95pT، ۵۳ درصد از بارش سال را شامل می‌شود که در صورت آگاهی از زمان وقوع این فرین‌ها مدیریت سیلاب‌ها و استفاده بهینه از منابع آبی از نتایج آن است که بیش از ۲۰ درصد این بارش‌های فرین در فروردین ماه رخ داده است. در این راستا طبق بررسی توزیع مکانی بارش در استان مرکزی، بیشینه وقوع مقدار میانگین بارش سالانه و فصلی به استثنای فصل تابستان در جنوب‌غرب و کمینه آن در مناطق شرقی استان مرکزی قرار دارد و به‌طور متوسط بیشترین بارش در فصل زمستان و سپس در بهار و پاییز رخ داده است. همچنین فروردین‌ماه با ضریب تغییرات ۰/۸ و میانگین بارش ماهانه در طول دوره آماری مورد مطالعه برابر با ۵۵/۶ میلی‌متر پربارش‌ترین ماه است و به دلیل وقوع اکثر بارش‌های فرین در این ماه بیشترین ارزش ذخیره‌سازی و مدیریت آب را در بین ماه‌های سال را دارد. همچنین از دیدگاه مقدار بارش میانگین ماهانه، بعد از فروردین ماه، به‌ترتیب ماه‌های آذر، اسفند و آبان با میانگین بارش ماهانه ۳۹/۳، ۳۸/۲ و ۳۶/۳ میلی‌متر در اولویت مدیریت ذخیره‌سازی آب قرار دارند. نتیجه بررسی روند تغییرات بارش ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال روند یکپارچه‌ای را نشان نمی‌دهد اما می‌توان در حالت کلی گفت تقریبا در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند حداقل در سطح اطمینان ۹۰٪ در بارش بهمن ماه روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. نتایج بررسی شاخص‌های بارش فرین بیانگر وقوع بیشترین مقدار آستانه بارش فرین در ایستگاه شازند (۲۸ میلی‌متر) و کمترین آن در ایستگاه ساوه (۱۵ میلی‌متر) است.

واژه‌های کلیدی: استان مرکزی، ویژگی‌های بارش، بارش فرین، گرمایش جهانی، شاخص‌های بارش فرین

۱- استادیار هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوّ، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Khansalari@yahoo.com)
۲ و ۳- اداره کل هواشناسی استان مرکزی، اراک، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84421.1332

مقدمه

بارش یکی از متغیرهای اقلیمی مهم در هر منطقه جغرافیایی به شمار می‌رود. با آگاهی از تغییرات زمانی- مکانی بارش می‌توان تا حدودی از تأثیرات مخرب خشکسالی و سیل جلوگیری (Ling *et al.*, 2021) و از پتانسیل بارش استفاده کرد. بنابراین، بررسی و مطالعه ویژگی‌های بارش هر منطقه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ویژگی های بارش در هر منطقه شامل شناسایی توزیع مکانی بارش در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه و همچنین تعیین تعداد روزهای همراه با بارش و بدون بارش و بیشینه بارش در آن منطقه است (Alizadeh, 2015).

برای بررسی ویژگی‌های بارش معمولاً تغییرات زمانی و توزیع مکانی بارش در منطقه مورد مطالعه در یک دوره آماری تحلیل می‌شود. به دلیل رفتار غیر خطی و نیز عدم تبعیت بارش از توزیع نرمال (Rasooli *et al.*, 2013)، بسیاری از محققان برای بررسی روند تغییرات زمانی آن در مناطق مختلف در دوره آماری، از آزمون مَن-کندال استفاده کرده‌اند (برای مثال، لینگ و همکاران (Ling *et al.*,2021) در شرق چین؛ هان و همکاران (Han *et al.*, 2021) در شهر شیان کشور چین؛ دولان و همکاران (Dollan *et al.*, 2022) در ویرجینیا و مریلند از ایالات شرقی کشور آمریکا؛ عبودی (Ebodé, 2022) در کامرون یک کشور آفریقای مرکزی). بر این اساس، لینگ و همکاران (Ling *et al.*, 2021) در دشت هوانگ-هوآی-های[1] که یک پایگاه تجاری مهم تولید غلات در چین است، بر اساس داده‌های بارش برای این دشت از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹، با استفاده از آزمون من-کندال، تجزیه و تحلیل موجک، تابع متعامد تجربی و مدل گرانیگاه، توزیع زمانی- مکانی بارش کل را در مقیاس‌های زمانی مختلف تحلیل کردند. نتایج این پژوهش روند صعودی معنی‌داری را برای بارش زمستانی در دشت هوانگ-هوآی-های نشان داد، در حالی‌که سایر روندهای فصلی معنی‌دار نبودند. همچنین، بارش در این دشت یک توزیع منطقه‌ای رو به کاهش از جنوب‌شرقی به شمال‌غربی را نشان داد. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2021) با مطالعه ویژگی‌های بارش در ناحیه تونگژو پکن در ۶۵ سال اخیر با استفاده از داده‌های ۱۱ ایستگاه باران‌سنج در این منطقه و همچنین با استفاده از ۵ ایستگاه باران‌سنج در اطرافِ منطقه تونگژو پکن، ویژگی‌های بارش در ناحیه تونگژو در مقیاس‌های مکانی، سالانه و درون سالانه را با استفاده از روش تحلیل جامع مورد بررسی قرار دادند. بررسی آنها حاکی از آن بود که میانگین بارندگی سالانه در ناحیه تونگژو در مرکز و شمال‌غربی بیشتر و در جنوب‌غربی کمتر است و بارش بین ژوئن تا اوت بیش از ۷۰ درصد از بارش سالانه را تشکیل می‌دهد. بارش در تابستان کاهش می‌یابد، در حالی‌که بارش در بهار و پاییز افزایش می‌یابد. همچنین، هان و همکاران (Han *et al.*, 2021) به بررسی کمّی تغییرات زمانی- مکانی بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف در منطقه شهر شیان پرداخته‌اند. در این مطالعه نیز از آزمون من-کندال و روش‌های تحلیل موجک برای تجزیه و تحلیل تغییرات بارش استفاده شده است. از نظر تغییرات زمانی بارش در این منطقه، به جز بارش تابستانی که روند افزایشی با مقدار کمی را نشان می‌دهد، سایر بارش‌های فصلی روند کاهشی مشابهی با بارش سالانه در طول سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۵۱ دارا هستند. بارندگی ماهانه در این منطقه نیز روندهای تغییر متفاوتی داشته است که به طور کلی بارش از ژوئن تا سپتامبر ۵۸/۴ درصد از کل بارش سالانه را تشکیل می‌دهد. برای تغییرات مکانی بارش طی سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۱۸، نتایج نشان داد که بارش سالانه و فصلی تفاوت‌های مکانی آشکاری دارند که نشان‌دهنده روند مکانی فزاینده‌ای از شمال به سمت جنوب منطقه است. در کشور ایران نیز مطالعات بسیاری در زمینه بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش در مناطق مختلف کشور و کاربرد آزمون من-کندال انجام شده است (Rasooli *et al.*, 2013؛ Panahi *et al.*, 2021؛ Halabian & Ghasemi Siani, 2021). رسولی و همکاران (Rasooli *et al.*, 2013) به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های سالانه در ایران، از داده‌های مجموع بارش سالانه ۵۰ ایستگاه هواشناسی همدیدی و اقلیمی طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵ استفاده کرده‌اند. در تحقیق ذکر شده، برای نشان دادن روند و معنی‌داری بارش‌های سالانه از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که متغیر بارش روندهای افزایشی و کاهشی در ایران داشته است. بر اساس نتایج این پژوهش بیشترین میزان روند کاهشی بارش طی ۴۰ سال بررسی‌شده در قسمت شمال غرب و بیشترین روند افزایشی در قسمت جنوب‌غرب کشور ایران رخ داده است. از مطالعات دیگر در زمینه ویژگی‌های بارش در کشور ایران می‌توان به پژوهش میرموسوی و همکارانش (Mir Mosavi *et al.*, 2016) اشاره کرد. در این مطالعه آنها الگوی فضایی بارش‌های سنگین و فوق سنگین در ایران را طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۴۰ بررسی و تحلیل کرده‌اند. در این مطالعه، صدک ۹۵ برای بارش‌های سنگین و صدک ۹۹ برای بارش‌های فوق‌سنگین انتخاب شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کرانه‌های ساحلی دریای خزر و دامنه غربی رشته کوه زاگرس، دارای بیشینه وقوع بارش‌های سنگین به لحاظ مکانی و زمانی است. مطالعات انجام شده در استان مرکزی محدود و انگشت‌شمار است. برای مثال، عطایی و فنایی (Ataee & Fanaee, 2012) تغییرات متغیرهای اقلیمی را در استان مرکزی در ایستگاه‌های اراک، شمس‌آباد،

1- Huang-Huai-Hai

تفرش و ساوه طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۶ (۴۰ سال) به صورت ماهانه، فصلی و سالانه مطالعه و بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش با کاربرد آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد متغیر میانگین بیشینه دما در بیشتر ماه‌ها بدون روند و تنها در ماه‌های مارس تا اکتبر در ایستگاه تفرش و ماه‌های آوریل و سپتامبر در ایستگاه شمس‌آباد روند مثبت مشاهده شده است. همچنین، بررسی متغیر بارش حاکی از روند منفی همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و عدم روند در سایر ماه‌ها می‌باشد. بررسی فصلی متغیر میانگین بیشینه دما تنها روند افزایشی در هر چهار فصل را در ایستگاه تفرش و روند کاهشی را در فصل پاییز در ایستگاه ساوه نشان می‌دهد. بررسی فصلی متغیر بارش تنها روند کاهشی بارش را در ایستگاه تفرش در فصل تابستان نشان می‌دهد. همچنین، نتایج بررسی سالانه این مطالعه بیانگر روند افزایشی میانگین بیشینه دما در ایستگاه‌های تفرش و شمس‌آباد است در حالیکه بارش سالانه هیچ‌گونه روندی را نشان نمی‌دهد.

با توجه به افزایش دوره خشکی در استان مرکزی و کوتاه شدن دوره وقوع بارندگی و وقوع این بارش‌ها به صورت فرین و با توجه به مطالعات محدود در زمینه بارش در این استان لازم است ویژگی‌های بارش در این منطقه بیشتر بررسی شود تا با آگاهی از زمان وقوع فرین‌ها هم جهت حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آب در دسترس در زمان وقوع فرین‌ها بهتر برنامه‌ریزی و مدیریت کرد و هم خطرات بارش فرین، مانند سیل‌های گسترده را کاهش داد. میزان بارش ۳۰۰ میلی‌متر در مناطق خشک توسط بهنیا به عنوان کمینه بارش برای کشت دیم عنوان شده است (Behnia, 1997). با توجه به اینکه متوسط بارش سالانه در استان مرکزی حدود ۲۸۰ میلی‌متر است و در اغلب نقاط استان نیز مقدار بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است، ضرورتِ توجه به ویژگی‌های بارش نمایان‌تر می‌شود. از این‌رو هدف پژوهش حاضر بررسی ویژگی‌های بارش شامل مقدار بارش و تغییرات زمانی در بازه‌های مختلف و توزیع مکانی بارندگی با توجه به داده‌های هواشناسی در دسترس با کمک آزمون من-کندال است تا اطلاعات جزئی‌تری از بارش حاصل شود. از سوی دیگر، به‌دلیل تغییر اقلیم جهانی و افزایش تعداد وقوع رویدادهای فرین بارشی، یکی از اهداف این تحقیق نیز تعیین این آستانه فرین‌های بارشی با استفاده از شاخص‌های مختلف در نقاط ایستگاهی استان مرکزی است.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش به‌منظور بررسی و مطالعه ویژگی‌های بارش در استان مرکزی از مجموعه داده‌های کنترل‌کیفی‌شده و صحت‌سنجی شده بارش ایستگاه‌های هواشناسی موجود در این استان از سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (۱۹۹۲-۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲-۲۰۲۱) استفاده شده است. استان مرکزی دارای ۱۲ شهرستان شامل اراک، محلات، ساوه، تفرش، آشتیان، کمیجان، خنداب، شازند، خمین، دلیجان، فرمهین و زرندیه می‌باشد. در این استان، ۱۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی، با سابقه آماری متفاوت وجود دارد. مختصات و مشخصات اقلیمی ۱۲ ایستگاه همدیدی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است. ایستگاه همدیدی تکمیلی فرمهین در سال ۱۴۰۰ افتتاح شده است اما اطلاعات بارش آن از سال زراعی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ موجود می‌باشد که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. از اطلاعات ایستگاه همدیدی زرندیه که در شمالی‌ترین منطقه استان مرکزی قرار دارد، نیز با توجه به دوره کوتاه مدت استفاده نشده است. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی و همچنین نقشه کوهساری منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ویژگی‌های بارش، شامل بارش روزانه، ماهانه، فصلی، سالانه، تعداد روزهای همراه با بارش و انحراف معیار و ضریب تغییرات آنها و همچنین بیشینه مقدار بارش، بر اساس داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی از سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با نرم افزار ArcGIS نقشه‌های توزیع مکانی آنها ترسیم و بررسی و تحلیل شده است. همچنین روند تغییرات بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. این آزمون ابتدا توسط مَن (Mann, 1945) در سال ۱۹۴۵ ارائه شد و سپس توسط کندال (Kendall, 1975) در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت.

همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون نیز بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند. فرض صفر و یک این آزمون به‌ترتیب نشانگر عدم وجود و وجود روند در سری داده‌هاست. در این آزمون ابتدا اختلاف بین هر یک از جملات سری با همدیگر محاسبه و سپس تابع sgn اعمال می‌شود و پارامتر s با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \boldsymbol{sgn}(x_j - x_k) \qquad (۱)$$

که در این رابطه N تعداد جملات سری، x_j و x_k به‌ترتیب داده‌های jام و kام سری هستند و تابع sgn نیز به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 \; if \; (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \; if \; (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \; if \; (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

سپس واریانس با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}{18} \qquad (۳)$$

که در این رابطه n، تعداد داده‌ها و m تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. در ادامه آماره آزمون مطابق با رابطه ۱۴ استخراج می‌شود.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var(S)}} \; if \; s > 0 \\ 0 \qquad if \; s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{var(S)}} \; if \; s < 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

که در این رابطه S پارامتر محاسبه شده در رابطه ۱ است. در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۵ برقرار باشد:

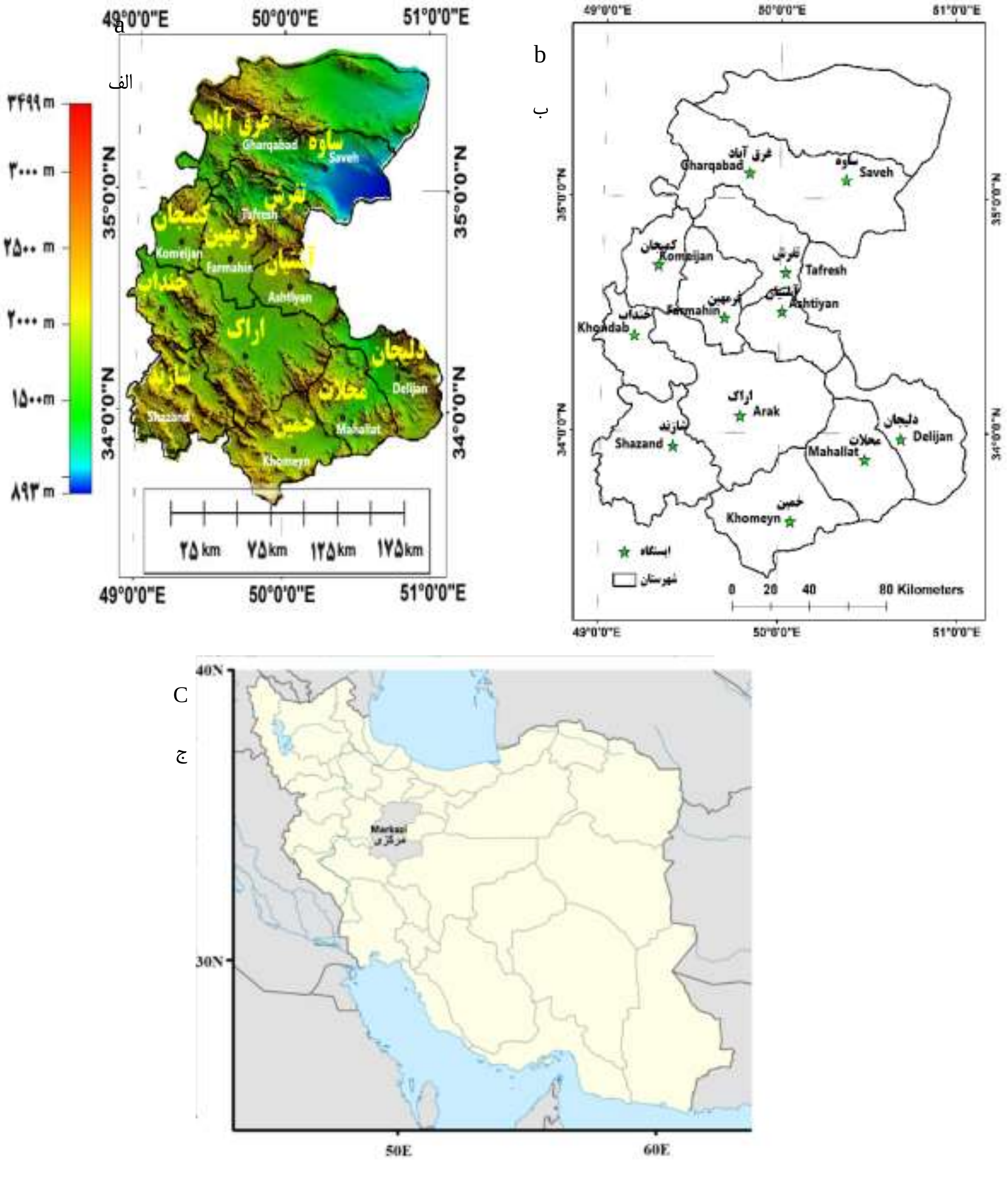
$$|Z| \le z_{\alpha/2} \qquad (۵)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از α/2 استفاده شده است. در صورتی که آماره‌ی Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. مقدار α برای سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد به‌ترتیب برابر با ۰/۱ و ۰/۰۱ است. در سطح اطمینان ۹۰ درصد Z=۱/۶۵ و در سطح اطمینان ۹۵ درصد Z=۱/۹۶ در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر بررسی روند در دو سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد انجام شده است.

جدول ۱- مختصات و مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Table 1- Coordinates and climatic characteristics of meteorology stations in Markazi province

ردیف Row	نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر) Station elevation from mean sea level (m)	اقلیم (آمبرژه) Climate (Embereger)	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)
1	اراک Arak	34°.6'	49°.42'	1702.9	خشک و سرد Arid and cold	309.4
2	ساوه Saveh	35°.3'	50°.20'	1108	خشک و معتدل Arid and moderate	191.1
3	محلات Mahallat	33°.54'	50°.28'	1681	خشک و سرد Arid and cold	237.6
4	تفرش Tafresh	34°.41'	50°.1'	1980	نیمه‌خشک و سرد Semi-arid and cold	313.5
5	کمیجان Komeijan	34°.43'	49°.19'	1741	خشک و سرد Arid and cold	278.2
6	خنداب Khondab	34°.24'	49°.11'	1739	خشک و سرد Arid and cold	306.2
7	شازند Shazand	33°.57'	49°.25'	1913	نیمه‌مرطوب و سرد Sub-humid and cold	487.6
8	دلیجان Delijan	33°.59'	50°.41'	1524	خشک و سرد Arid and cold	181.1
9	آشتیان Ashtiyan	34°.41'	50°	2097	خشک و سرد Arid and cold	269.6
10	خمین Khomeyn	33°.37'	50°.5'	1834.6	خشک و سرد Arid and cold	294.9
11	غرق‌آباد Gharqabad	35°.6'	49°.49'	1590	خشک و سرد Arid and cold	287.2
12	فرمهین Farmahin	34°.30'	49°.41'	1785	خشک و سرد Arid and cold	246.5



شکل ۱- الف) وضعیت کوهساری و ب) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی ج) موقعیت جغرافیایی استان مرکزی
Figure 1- a) The topography and b) the location of the meteorological stations of Markazi province c) the location of Markazi province

همچنین با توجه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و وقوع بارش‌های فرین در مناطق مختلف دنیا، بارش فرین در مناطق مختلف این استان با استفاده از داده‌های بارش روزانه در بازه زمانی سال زراعی ۱۳۷۱–۱۳۷۰ تا سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. گرم شدن کره زمین در چند دهه اخیر، نه تنها از نظر میانگین اقلیم، بلکه با توجه به رخدادهای فرین در مناطق مختلف جهان، به‌طور جدی

بر اقلیم تأثیر گذاشته است (Shiu *et al.*, 2012; Papalexiou & Montanari, 2019). علاوه بر این، پیشگری می‌شود که رخدادهای مرطوب شدید در بسیاری از مناطق خشکی به دلیل گرمایش جهانی بیشتر رخ دهد (Allan and Soden, 2008). در این مطالعه، آستانه بارش فرین با استفاده از صدک‌ها، به روش ژای و همکاران (Zhai *et al.*, 2005) محاسبه شد؛ که این روش به طور گسترده در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (Wang *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014; Cui *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2021). بدین منظور در هر ایستگاه، داده‌های بارش سالانه (بارش روزانه بزرگتر یا مساوی یک میلی‌متر) به صورت صعودی مرتب شدند تا توالی بارش سالانه برای هر سال زراعی از سال ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌دست آید. سپس، میانگین صدک ۹۵ برای توالی بارش ۳۰ ساله در هر ایستگاه به‌عنوان میانگین آستانه بارش فرین تعریف شد (Rwn95 در رابطه ۶). براساس این آستانه بارش فرین، چهار شاخص بارش فرین محاسبه شد که توسط سازمان جهانی هواشناسی، کمیسیون اقلیم‌شناسی و توصیه‌های برنامه تغییر اقلیم و پیش‌بینی تهیه شده است. علاوه بر این، این شاخص‌ها به‌طور گسترده‌-ای برای انعکاس ویژگی‌های اساسی بارش فرین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Choi *et al.*, 2009; Fatichi & Caporali, 2009; Zhang *et al.*, 2011; Peng *et al.*, 2018; Tang *et al.*, 2021).

این شاخص‌ها به صورت خلاصه در جدول ۲ معرفی شده‌اند و معادلات آنها در روابط ۶ تا ۸ نشان داده شده است (Tang *et al.*, 2021). مجموع بارش فرین بر حسب واحد میلی‌متر(R95p) (رابطه ۶)، تعداد روزهایی که در سال مورد بررسی، مقدار بارش در آنها از آستانه بارش فرین آن ایستگاه بیشتر باشد (R95d) و شدت مطلق بارش فرین بر حسب میلی‌متر بر روز (AEPI) (رابطه ۷) متغیرهای آماری اساسی هستند که بارش فرین را توصیف می‌کنند. کسری از کل بارندگی ناشی از رویدادهای فراتر از آستانه بارش فرین (R95pT) منعکس‌کننده نسبت بارش فرین به بارش سالانه در روزهای بارانی (بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر) بر حسب درصد است (رابطه ۸).

$$R95p_i = \sum_{w-1}^{W} R_{wj} \ \& \ R_{wj} > R_{wn}95 \qquad (۶)$$

$$R95d/\ R95p \ = AEPI \qquad (۷)$$

$$R95pT_j = \sum_{w-1}^{W} R_{wj}\ /R_j \ \& \ R_{wj} > R_{wn}95 \qquad (۸)$$

که R_{wj} و $R_{wn}95$ به ترتیب مقدار بارش روزانه در روزهای مرطوب (بارش بیش از یک میلی‌متر) در دوره j و مقدار آستانه بارش فرین هستند که در این پژوهش مقدار آستانه بارش در مدت ۲۴ ساعت (بارش روزانه) محاسبه شده است.

نتایج و بحث

ویژگی بارش سالانه

ویژگی‌های بارش سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در جدول ۳ میانگین مجموع سالانه بارش سال زراعی، در چهار ایستگاه شازند، تفرش، اراک و خنداب بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر می باشد که البته ایستگاه شازند با میزان ۴۹۰/۱ میلی‌متر اختلاف قابل توجه‌ای با سایر ایستگاه‌های استان دارد. ایستگاه‌های دلیجان و ساوه در شرقی‌ترین نقاط استان کمترین بارش را به میزان ۱۸۲/۳ و ۱۹۲/۸ میلی‌متر دارند. خمین، غرق آباد و کمیجان بارش‌هایی نزدیک به ۳۰۰ میلی‌متر را دارا می‌باشند. در ایستگاه‌های استان به‌جز ایستگاه شازند بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر نیز ثبت شده است. در ایستگاه‌های ساوه و دلیجان بارش سالانه آبی ۷۶/۶ و ۸۸/۵ میلی‌متر نیز گزارش شده است. در طول دوره آماری در ایستگاه ساوه بارش سال آبی هیچ زمانی به ۳۰۰ میلی‌متر نیز نرسیده است و در ایستگاه دلیجان بیشترین بارش سال آبی ثبت شده ۳۰۵/۲ میلی‌متر است.

جدول ۲- معرفی مختصر چهار شاخص بارش فرین در این مطالعه

Table 2- Brief description of the four extreme precipitation indices used in this study

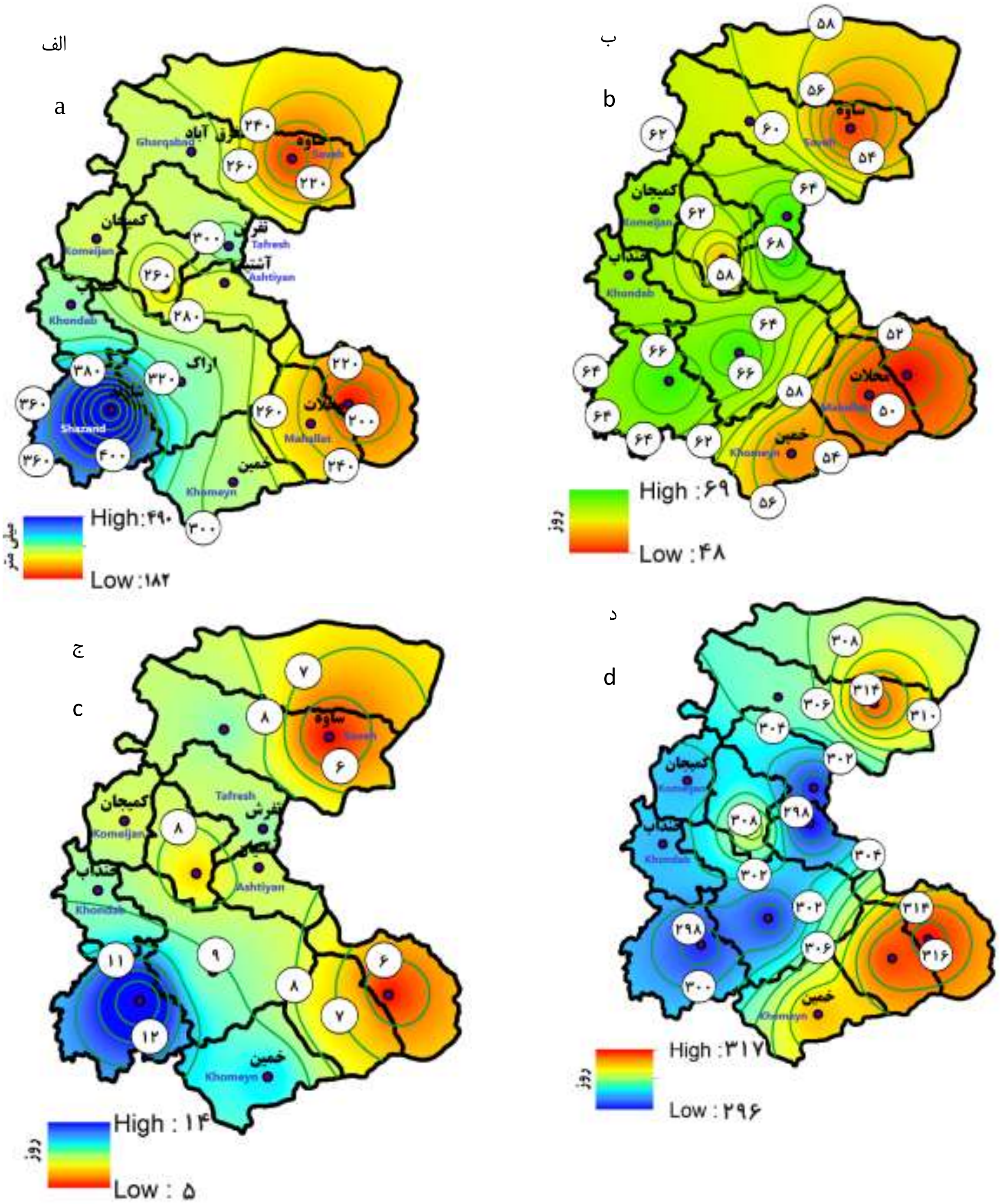
شاخص Index	نام توصیفی شاخص Descriptive name of index	واحد Units
R95p	مقدار بارش در روزهای خیلی مرطوب Precipitation due to very wet days	میلی‌متر mm
R95d	تعداد روزهای با بارش فرین Extreme precipitation days	روز day
AEPI	شاخص شدت مطلق بارش فرین Absolute intensity extreme precipitation Index	میلی‌متر بر روز mm day^{-1}
R95pT	نسبت بارش فرین به کل بارش در روزهای خیلی مرطوب Extreme precipitation to total precipitation of very wet days	%

در طول دوره آماری موجود بیشینه بارش سال آبی در ایستگاه‌های اراک، خنداب، خمین و کمیجان بیش از ۵۰۰ میلی‌متر ثبت شده است. بیشینه بارش سال آبی در بین ایستگاه‌های استان مرکزی مربوط به ایستگاه شازند با مقدار بارشِ ۹۶۱/۶ میلی‌متر و در سال زراعی ۱۳۹۸–۱۳۹۷ است. همچنین با توجه به نقشه توزیع مکانی بارش سالانه استان مرکزی (شکل ۲-الف) بارش بیشینه شازند در جنوب غرب استان به‌خوبی نمایان است. ایستگاه‌های خنداب و اراک نیز با بارش بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر و ایستگاه خمین با بارش ۲۹۶/۶ میلی‌متر در نزدیکی ایستگاه شازند نیز دیده می شود. با اینکه در حرکت به سمت شرق مقدار بارش به میزان قابل توجهی کم می‌شود، ایستگاه تفرش با توجه به ارتفاع بلندتر و شرایط کوهساری بارش بیش از ۳۰۰ میلی‌متر را دارا می‌باشد. بر اساس جدول ۳ میانگین انحراف معیار بارش سالانه در ایستگاه‌های استان در مقایسه با میانگین بارش قابل توجه است که ضریب تغییرات نیز در حدود ۰/۳ می‌باشد که حاکی از آن است که انحراف معیار بارش در ایستگاه‌ها در حدود یک سوم میانگین بارش می‌باشد. کمینه و بیشینه ضریب تغییرات بارش سال زراعی در استان مرکزی به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های تفرش و محلات و به مقدار ۰/۲۵ و ۰/۳۵ است. مطابق با جدول ۳، میانگین تعداد روزهای همراه با بارش در استان مرکزی در دلیجان، محلات و ساوه کمتر از ۵۰ روز و به‌ترتیب برابر با ۴۸، ۴۹ و ۵۰ روز است که کمینه مقدار این کمیت در استان است. بیشینه میانگین تعداد روزهای همراه با بارش مربوط به آشتیان (۶۹ روز)، شازند، تفرش و اراک (۶۸ روز) است که در نقشه توزیع مکانی این کمیت (شکل ۲-ب) نیز به خوبی این مطلب مشاهده می‌شود.

جدول ۳- ویژگی‌های بارش سالانه بلندمدت (از سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Table 3- Characteristics of long-term annual rainfall (from crop year 1991-1992 to 2020-2021) in meteorological stations of Markazi Province

نام ایستگاه Station name	شازند Shazand	تفرش Tafresh	اراک Arak	خنداب Khondab	خمین Khomeyn	غرق آباد Gharqabad	کمیجان Komeijan	آشتیان Ashtiyan	فرمهین Farmahin	محلات Mahallat	ساوه Saveh	دلیجان Delijan
میانگین سالانه Annual average	490.1	315.5	311.8	309.3	296.6	290.2	280.6	271.6	252.5	239.4	192.8	182.3
کمینه مطلق سالانه Annual absolute minimum	267.3	169	154.4	117.7	138	181.7	169.3	139.5	126.2	105.1	76.6	88.5
بیشینه مطلق سالانه Annual absolute maximum	961.6	464	547.4	572.5	514.2	481.5	532.5	443.8	419.1	416	297.9	305.2
انحراف معیار سالانه Annual standard deviation	149.5	79.8	91.8	96.8	99.9	78.1	89.7	69.5	71.5	83.4	60.8	54.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.3	0.25	0.29	0.31	0.34	0.27	0.32	0.26	0.28	0.35	0.32	0.3



شکل ۲- توزیع مکانی ویژگی‌های بارش در سال زراعی استان مرکزی الف) میانگین بارش سال زراعی بلندمدت، ب) میانگین تعداد روزهای همراه با بارش سال زراعی، ج) میانگین تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در سال زراعی، د) میانگین تعداد روزهای بدون بارش

Figure 2- Spatial distribution of precipitation characteristics in the cropping year of Markazi Province a) Average rainfall of long-term cropping year b) Average number of days with rainfall in cropping year c) Average number of days with rainfall of more than 10 mm in cropping year D) average number of days without rain

بیشینه میانگین تعداد روزهای همراه با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه‌های شازند (۱۴ روز)، خمین، خنداب، تفرش و غرق‌آباد (۹ روز) می‌باشد که در نقشه توزیع مکانی (شکل ۲-ج) نیز این مطلب مشهود است. همچنین بیشترین تعداد روزهای بدون وقوع بارش

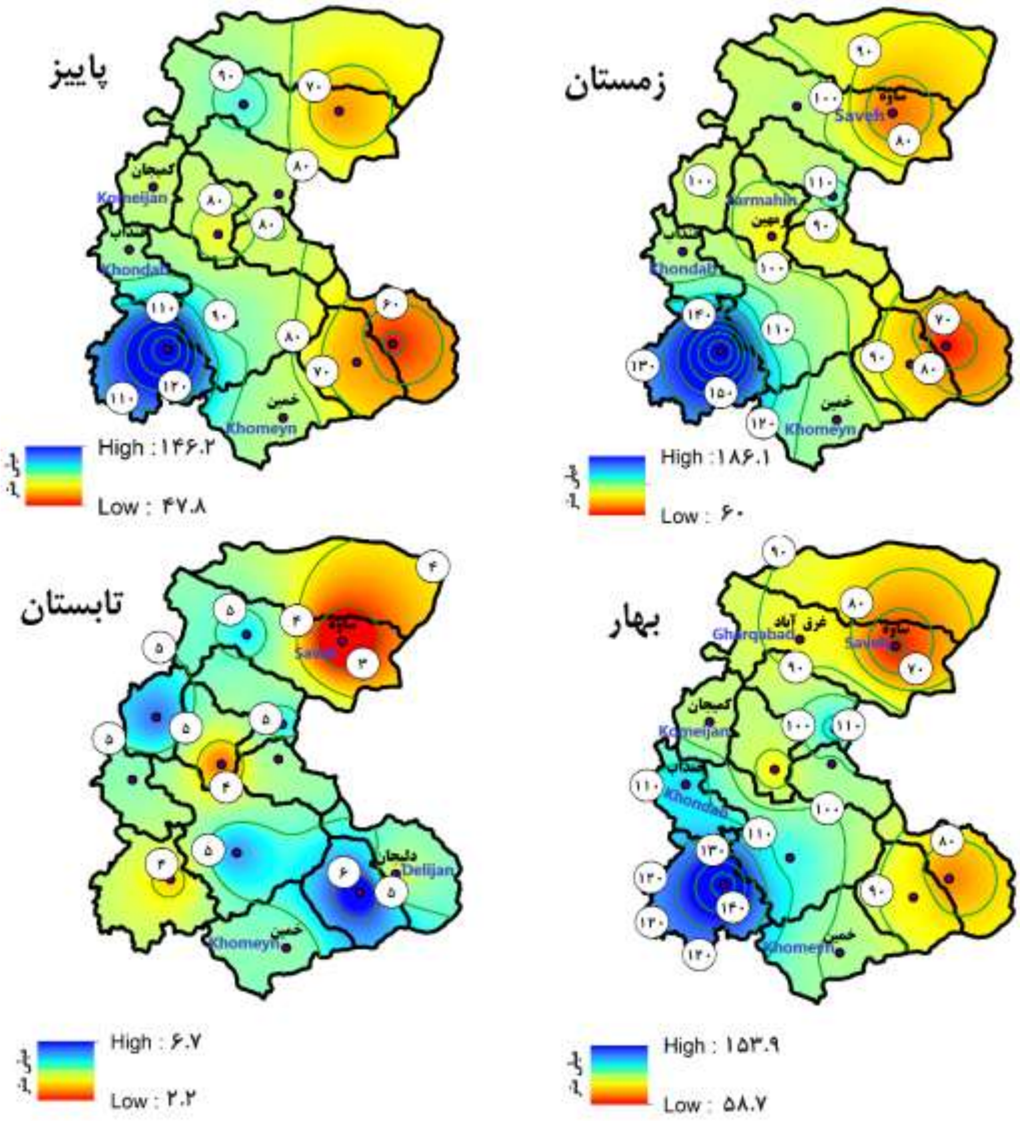
در شرقی‌ترین مناطق استان در ایستگاه‌های دلیجان (۳۱۷ روز)، محلات (۳۱۶ روز) و ساوه (۳۱۵ روز) مشاهده می‌شود که این تمرکز روزهای بدون وقوع بارش در شکل ۲-د نیز نشان داده شده است.

بررسی ویژگی‌های بارش فصلی

بررسی ویژگی‌های بارش فصلی براساس شکل ۳ حاکی از آن است که به طور متوسط بیشترین بارش در فصل زمستان و سپس در بهار و پاییز رخ داده است. کمترین بارش نیز در فصل تابستان با میانگین بارش بسیار کم اتفاق افتاده است. توزیع مکانی بارش (شکل ۳) در فصول بهار، پاییز و زمستان بیانگر وقوع بیشینه بارش فصلی در جنوب‌غرب استان مرکزی و بارش فصلی کمتر در شرق استان می‌باشد. به‌منظور بررسی با جزئیات بیشتر مقدار بارش در استان مرکزی، در بخش بعدی مقدار بارش به‌صورت ماهانه مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

ویژگی بارش ماهانه در فصل پاییز

توزیع مکانی بارش رخ داده در مهرماه در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- توزیع مکانی بارش فصلی در استان مرکزی

Figure 3- Spatial distribution of seasonal rainfall in Markazi province

براساس نتایج محاسبات آماری، میانگین مقدار بارش رخ داده در مهرماه کم می‌باشد و مقدار بارش ماهانه در مهرماه در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه‌های استان بین ۳/۵ (ایستگاه ساوه) تا ۱۱ (ایستگاه شازند) میلی‌متر متغیر است. مهرماه به‌عنوان آغاز سال زراعی و آبی از اهمیت بسزایی برخوردار است. آمار بارش‌های موجود حاکی از عدم دریافت مقدار کافی بارش در این ماه می‌باشد. بیشینه مقدار بارش در این ماه نیز در بازه ۲۵/۵ (ایستگاه ساوه) تا ۶۳/۹ (ایستگاه خنداب) میلی‌متر در ایستگاه‌های مختلف استان مرکزی است که می‌توان گفت وقوع بارش مؤثر در این ماه بسیار کم است. انحراف معیار بارش در این ماه بزرگتر از میانگین بارش است که منجر به ضریب تغییرات بیش از ۱ می‌شود. بازه تغییرات انحراف معیار بین ۱/۴ (ایستگاه‌های تفرش و خمین) تا ۲ (ایستگاه دلیجان) است. میانگین بارش در آبان ماه نسبت به مهرماه قابل توجه می‌باشد. به‌طوری‌که مقدار میانگین بارش در ایستگاه‌های استان در آبان ماه در بازه ۲۱/۴ (ایستگاه دلیجان) تا ۶۲/۴ (ایستگاه شازند) میلی‌متر متغیر است. با توجه به عدم دریافت بارش مناسب در مهرماه، آبان ماه به‌عنوان ماه آغاز دریافت بارش مؤثر در سال زراعی و آبی از اهمیت بسزایی برخوردار است. بیشینه بارش دریافتی در این ماه در بازه ۷۵/۷ (ایستگاه ساوه) تا ۲۰۷ (ایستگاه شازند) میلی‌متر است. همچنین انحراف معیارِ مقدار بارش در بازه ۱۹/۸ تا ۵۲/۵ میلی‌متر و ضریب تغییرات در بازه ۰/۸ تا ۰/۹ است. میانگین مقدار بارش به وقوع پیوسته در آذر ماه در دوره آماری مورد مطالعه، در ایستگاه‌های استان مرکزی بین ۲۲/۱ تا ۷۲/۸ میلی‌متر متغیر می‌باشد. بیشینه بارش به وقوع پیوسته در این ماه نیز در بازه ۶۱/۱ تا ۱۶۵/۳ میلی‌متر به‌ترتیب در ایستگاه‌های دلیجان و شازند می‌باشد. همچنین انحراف معیار بارش بین ۱۶/۷ تا ۴۶/۵ میلی‌متر است. ضریب تغییرات در این ماه حدود ۰/۶ تا ۰/۸ می‌باشد که هرچند مقدار زیادی می‌باشد اما نسبت به بارش ماه‌های مهر و آبان کمتر بوده و پراکندگی بارش را کمتر نشان می‌دهد. شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج توزیع مکانی بارش سه ماه پاییز را نشان می‌دهد که بطور متوسط مقدار بارش آذر ماه نسبت به ماه‌های مهر و آبان بیشتر است. همچنین در این سه ماه مقدار بارش در شرق استان نسبت به غرب استان کم‌تر می‌باشد.

ویژگی بارش ماهانه در فصل زمستان

بر اساس مشخصات بارش در دوره مورد مطالعه مربوط به دی ماه در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی، میانگین بارش در این ماه در ایستگاه‌های استان بین ۱۸/۱ (ایستگاه دلیجان) تا ۵۹/۶ (ایستگاه شازند) میلی‌متر گزارش شده است. بیشینه بارش دریافتی در این ماه نیز در بازه ۲۰۴/۳ تا ۵۷/۵ میلی‌متری به‌ترتیب در ایستگاه های شازند و دلیجان اتفاق افتاده است. همچنین انحراف معیار بارش در دی ماه در بازه ۱۵/۶ تا ۴۴/۹ میلی‌متر و ضریب تغییرات در این ماه حدود ۰/۶ تا ۱ می‌باشد. در بهمن ماه میانگین بارش در ایستگاه‌های استان بین ۱۸/۹ (ایستگاه دلیجان) تا ۵۷/۲ (ایستگاه شازند) میلی‌متر است. بیشینه بارش رخ داده در این ماه در دوره مورد مطالعه در بازه ۱۶۲ تا ۵۶/۶ میلی‌متر قرار دارد. انحراف معیار بارش در ایستگاه‌های استان مرکزی در این ماه بین ۱۴/۸ تا ۳۴/۹ میلی‌متر است و ضریب تغییرات در بازه ۰/۵ تا ۰/۹ می‌باشد. در اسفندماه میانگین بارش در ایستگاه‌های استان بین ۲۳ تا ۶۹/۲ میلی‌متر می‌باشد. بیشینه مقدار بارش رخ داده در این ماه نیز در بازه ۷۷ تا ۱۹۸ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه‌های دلیجان و شازند است. همچنین انحراف معیار بارش ۱۷/۱ تا ۵۱/۲ میلی‌متر در این ماه می‌باشد و ضریب تغییرات در استان در بازه ۰/۷تا ۱ است. توزیع مکانی میانگین بارش در سه ماه زمستان (شکل‌های ۴-د، ۴-ه و ۴-و) نشان می‌دهد که در اسفند ماه بارش جنوب استان نسبت به دو ماه دیگر بیشتر است و در بهمن ماه بارش شمال استان نسبت به دو ماه دی و اسفند بیشتر است.

ویژگی بارش ماهانه در فصل بهار

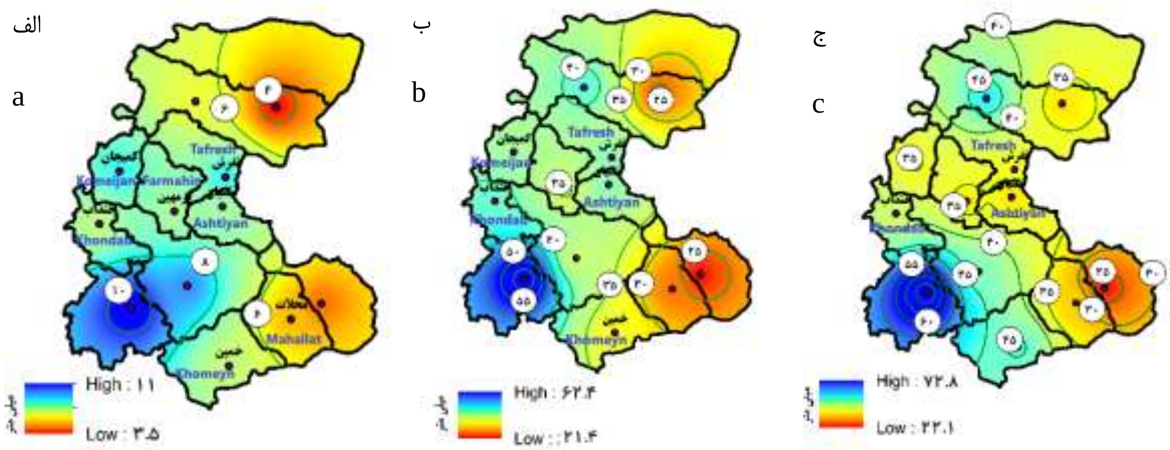
در فروردین ماه میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های استان بین ۳۲/۶ (ایستگاه ساوه) تا ۹۱/۶ (ایستگاه شازند) میلی‌متر می‌باشد. بیشینه بارش دریافتی در این ماه نیز بین ۱۲۴/۴ تا ۲۵۴/۶ میلی‌متر در ایستگاه های استان مرکزی است که با توجه به میانگین سال آبی استان مقدار بارش قابل توجهی می‌باشد. انحراف معیار بارش بین ۲۸/۷ تا ۶۱/۳ میلی‌متری در این ماه نشان داده شده است و ضریب تغییرات در ایستگاه های استان بین ۰/۶ تا ۰/۹ است. در اردیبهشت‌ماه میانگین بارش در ایستگاه‌های استان بین ۲۱/۹ تا ۵۵ میلی‌متر است. بیشینه بارش‌های دریافتی این ماه نیز حاکی از وقوع بارش در بازه ۷۸/۱ تا ۲۰۸ میلی‌متر در ایستگاه‌های استان می‌باشد که با توجه به میانگین سال آبی استان بارش قابل ملاحظه‌ای است. انحراف معیار بارش ۱۸/۵ تا ۴۹/۵ میلی-متر در این ماه می‌باشد و ضریب تغییرات در ایستگاه‌های استان ۰/۷ تا ۱/۱ است که در مقایسه با فروردین ماه بزرگتر می باشد. در آخرین ماه از فصل بهار، میانگین بارش در ایستگاه‌های استان بین ۴/۱ تا ۱۰/۵ میلی‌متر است که نسبت ماه‌های مورد بررسی قرارگرفته (به جز مهر ماه) به شدت افت و کاهش دارد. در واقع آغاز مجدد بارش‌های با مقدار کم را نشان می‌دهد. بر اساس آمار موجود در کلیه ایستگاه‌های استان مرکزی عدم دریافت بارش قابل توجه در این ماه اتفاق افتاده است. بیشینه بارش‌های دریافتی این ماه نیز به‌ترتیب در ایستگاه محلات و اراک و برابر با ۹۰/۲ و ۸۷/۸ میلی‌متر رخ داده است. در خردادماه انحراف معیار بارش ۷/۱ تا ۱۶/۹ میلی‌متر و ضریب تغییرات در ایستگاه‌های استان در بازه ۱/۴ تا ۲/۳ می‌باشد که در مقایسه با سایر ماه‌ها از آغاز

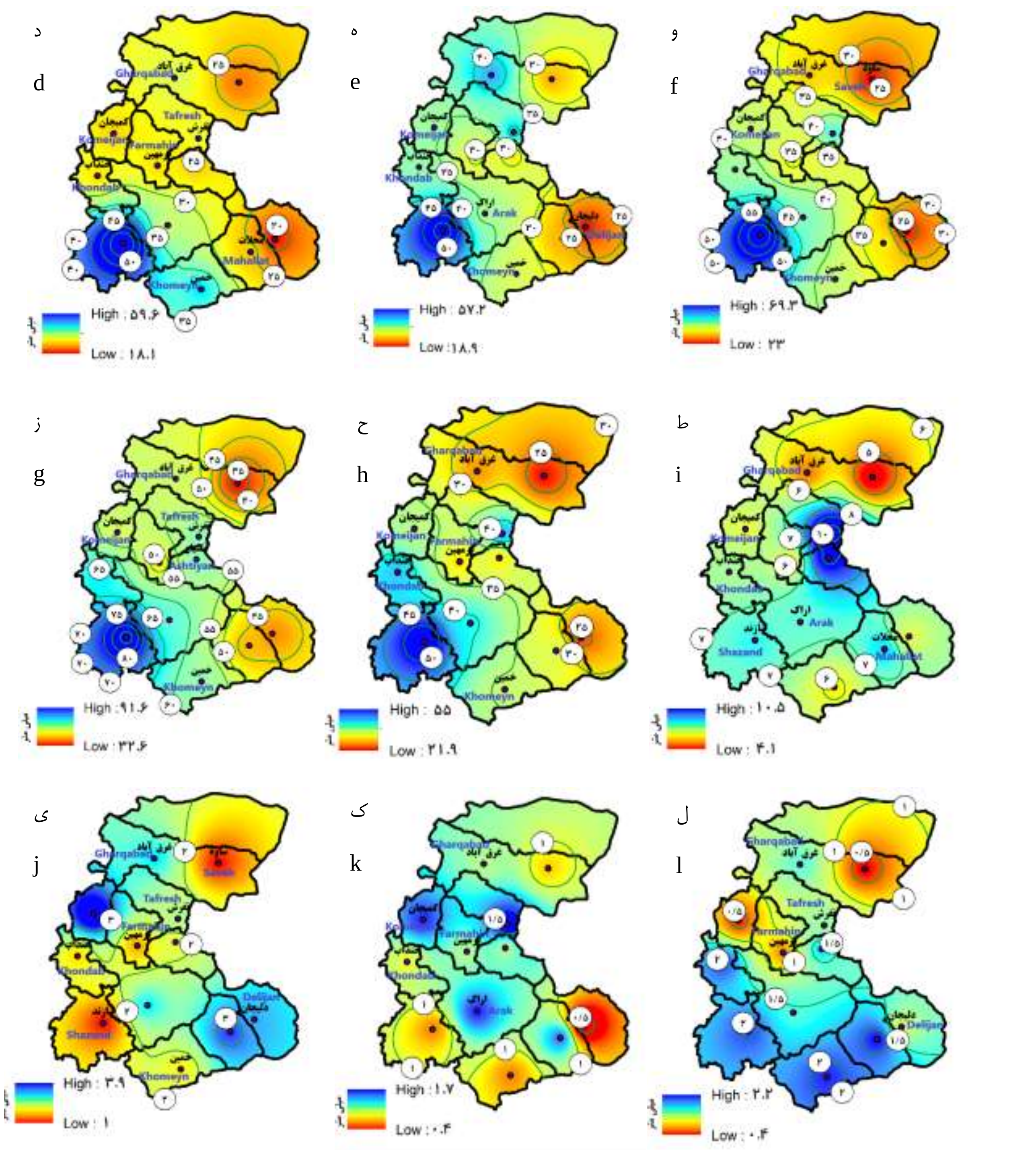
سال آبی تا خردادماه بزرگتر می‌باشد. توزیع مکانی بارش فروردین‌ماه (شکل ۴-ز) نشان می‌دهد که میانگین بارش این ماه نسبت به سایر ماه‌های سال بیشتر است و همچنان مانند سایر ماه‌ها (به‌جز سه ماه کم بارش خرداد، تیر و مرداد)، میزان بارش در جنوب‌غرب استان بیشتر است و به سمت شمال و شرق مقدار وقوع بارش کاهش می‌یابد. همچنین مقدار بارش در خردادماه (شکل ۴-ط) نسبت به دو ماه اول بهار (شکل‌های ۴-ز و ۴-ح) کاهش قابل توجهی دارد.

ویژگی بارش ماهانه در فصل تابستان

در تیرماه میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های استان در بازه ۱ تا ۳/۹ میلی‌متر می‌باشد بیشینه بارش رخ داده این ماه نیز بین ۸/۸ (ایستگاه شازند) تا ۴۲/۹ (ایستگاه خمین) میلی‌متر است که پربارش‌ترین نقطه استان در سه فصل دیگر (ایستگاه شازند) کمترین میانگین بارش دریافتی را در این ماه دارد. انحراف معیار بارش در این ماه در استان مرکزی در بازه ۲/۱ تا ۸/۵ میلی‌متر و ضریب تغییرات بین ۱/۹ تا ۴/۳ می‌باشد که در گروه ماه‌های با ضریب تغییرات بزرگ قرار دارد. در مردادماه در دوره مورد مطالعه میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های استان در بازه ۰/۴ تا ۱/۷ میلی‌متر قرار دارد. بیشینه مقدار بارش‌های دریافتی این ماه نیز بین ۵/۷ (ایستگاه اراک) تا ۲۶/۴ (ایستگاه دلیجان) میلی‌متر می‌باشد. همچنین انحراف معیار مقدار بارش در این ماه بین ۱/۲ (ایستگاه دلیجان) تا ۵ (ایستگاه اراک) میلی‌متر و ضریب تغییرات بارش در بازه ۲/۱ تا ۴/۸ می‌باشد که در دسته ماه‌های با ضریب تغییرات بزرگ قرار دارد. در شهریورماه میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های استان مرکزی بین ۰/۳ تا ۲/۲ میلی‌متر و بیشینه مقدار بارش رخ داده در بازه ۴/۳ تا ۲۹/۶ می‌باشد. مقدار انحراف معیار بارش در این ماه بین ۱ تا ۵/۷ میلی‌متر و همچنین ضریب تغییرات در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در بازه ۲/۱ تا ۴/۵ قرار دارد که در دسته ماه‌های با ضریب تغییرات بزرگ می‌باشد. توزیع مکانی بارش در تیرماه (شکل ۴-ی) حاکی از وقوع مقدار بارش بسیار کم در سطح استان می‌باشد که بیشینه وقوع بارش در این ماه در دوره آماری مورد مطالعه در جنوب‌شرق و بخش‌هایی از غرب استان مرکزی است. همچنین شکل ۴-ک توزیع مکانی مقدار بارش در ایستگاه‌های استان مرکزی در مردادماه را نشان می‌دهد که بیانگر وقوع بارش‌های ناچیز در سطح استان مرکزی است. توزیع مکانی مقدار بارش در استان مرکزی در شهریورماه آخرین ماه سال زراعی (شکل ۴-ل) بیانگر وقوع بارش‌های با مقدار ناچیز در سطح استان می‌باشد که در نیمه جنوبی استان مقدار این بارش‌ها بیشتر از نیمه شمالی استان است.

در نهایت نتایج بررسی آماری مقدار میانگین بارش ماهانه در دوره ۳۰ ساله (جدول ۴) نشان‌می‌دهد که پربارش‌ترین ماه‌ها در استان مرکزی ماه‌های فروردین، آذر، اسفند و آبان به‌ترتیب با میانگین بارش ماهانه ۵۵/۶، ۳۹/۳، ۳۸/۲ و ۳۶/۳ میلی‌متر و ضریب تغییرات ۰/۸، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ هستند. همچنین ماه‌های تابستان با کمترین میانگین بارش و بیشترین ضریب تغییرات کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در طول دوره آماری در استان مرکزی می‌باشند.





شکل ٤- توزیع مکانی بارش ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی الف) مهر ب) آبان ج) آذر د) دی ه) بهمن و) اسفند ز) فروردین ح) اردیبهشت ط) خرداد ی) تیر ک) مرداد ل) شهریور

Figure 4- Spatial distribution of monthly precipitation in meteorological stations of Markazi province a) 23Sep-22Oct b) 23Oct-21Nov c) 22Nov-21Dec d) 22Dec-20Jan e) 21Jan-19Feb f) 20Feb-19Mar g) 20Mar-19Apr h) 20Apr-20May i) 21May-20June j) 21June-21July k) 22July-21Aug l) 22Aug-22Sep

جدول ٤- میانگین بارش ماهانه و ضریب تغییرات در ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان مرکزی در دوره ۳۰ساله

Table 4- Mean monthly precipitation and coefficient of variation in 12 meteorological stations of Markazi Province in a period of 30 years

نام ایستگاه Name	مهر 23Sep-22Oct	آبان 23Oct-21Nov	آذر 22Nov-21Dec	دی 22Dec-20Jan	بهمن 21Jan-19Feb	اسفند 20Feb-19Mar	فروردین 20Mar-19Apr	اردیبهشت 20Apr-20May	خرداد 21May-20June	تیر 21June-21July	مرداد 22July-21Aug	شهریور 22Aug-22Sep
میانگین بارش ماهانه Average monthly precipitation	6.8	36.3	39.3	29.7	33.8	38.2	55.6	34.9	6.8	2.2	1.1	1.4
ضریب تغییرات Coefficient of variation	1.7	0.9	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	0.9	1.8	2.2	2.8	2.9

روند تغییرات بارش ماهانه، فصلی و سالانه

نتیجه بررسی روند تغییرات بارش ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ بارش تیر ماه در ایستگاه خمین، بارش بهمن ماه در ایستگاه دلیجان، و بارش بهمن ماه، فصل زمستان و سالانه در ایستگاه محلات معنی‌دار است که در ایستگاه خمین بارش در تیرماه روند افزایشی معنی‌دار و در محلات و دلیجان روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. همچنین در سطح اطمینان ۹۰ درصد نیز بارش بهمن‌ماه در ایستگاه اراک، بارش اردیبهشت و بهمن‌ماه در ایستگاه‌های ساوه و خمین، بارش اردیبهشت‌ماه در ایستگاه محلات، بارش بهمن‌ماه در ایستگاه غرق‌آباد روند کاهشی معنی‌دار داشته‌اند و بارش آبان‌ماه در ایستگاه‌های خمین، تفرش و آشتیان، بارش مردادماه و پاییز در ایستگاه کمیجان و بارش سالانه در ایستگاه آشتیان روند افزایشی معنی‌دار داشته‌اند.

مشخصات بارش فرین در استان مرکزی

در این بخش شاخص‌های بارش فرین در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شده است. در جدول ۶ آستانه بارش فرین میانگین ۳۰ ساله (از سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) محاسبه شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی نشان داده شده است. بر این اساس بیشترین مقدار آستانه بارش فرین در دوره مورد مطالعه مربوط به ایستگاه شازند (۲۸ میلی‌متر) و کمترین آن متعلق به ایستگاه‌های ساوه و دلیجان (۱۵ میلی‌متر) است.

براساس بررسی سالانه چهار شاخص بارش فرین معرفی شده در بخش روش کار، برای ۱۲ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه استان مرکزی در دوره آماری ۳۰ ساله، به‌دلیل حجم زیاد اطلاعات، شاخص-های بارش فرین در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی، در مواردی که بارش فرین رخ داده بالاترین درصد از بارش آن سال را در بین سال‌های مورد مطالعه شامل شود، در جدول ۸ نشان داده شده است. در جدول ۷، شاخص بارش فرین R95p مقدار بارش فرین در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی را در تعداد روز وقوع بارش فرین R95d نشان می‌دهد. بر این اساس شاخص AEPI که نسبت دو شاخص ذکر شده است شدت بارش را نشان می‌دهد. شاخص R95pT مقدار درصد سهم بارش فرین رخ داده در هر یک از ایستگاه‌ها از بارش سال مربوطه را نشان می‌دهد که مقادیر بیشینه و کمینه این شاخص در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۳۰ ساله در جدول ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است مقادیر بیشینه شاخص R95pT نشان می‌دهد که در بعضی از سال‌ها مقدار بارش فرین که در تعداد روز کمی اتفاق افتاده است (جدول ۸) سهم زیادی از بارش سال مربوطه را شامل می‌شود. به طور متوسط بیشینه شاخص R95pT، ۵۳ درصد از بارش سال را شامل می‌شود که در صورت آگاهی از زمان وقوع این فرین‌ها مدیریت این سیلاب‌ها و استفاده بهینه از منابع آبی از نتایج آن است. همچنین بیشترین مقدار بارش فرین در هر یک از ۱۲ ایستگاه مورد بررسی در فروردین ماه رخ داده است که سهم بارش فرین از کل بارش فرین سالانه بین ۲۱/۸ درصد در ایستگاه شازند تا ۳۰ درصد در ایستگاه غرق‌آباد قرار دارد (جدول ۹). در جدول ۸، همچنین با توجه به بارش‌های فرین رخ داده در اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین‌ماه ۱۳۹۸ در منطقه وسیعی از کشور، شاخص‌های بارش فرین در این سال نیز نشان داده شده است.

جدول ۵- آماره من-کندال در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی (نارنجی پررنگ: روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۵٪، نارنجی کم‌رنگ: روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۰٪، آبی پررنگ: روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵٪، آبی کم‌رنگ: روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۰٪)

Table 5- Mann-Kendall statistics in meteorological stations of Markazi Province (dark orange: increasing trend at 95% confidence level, light orange: increasing trend at 90% confidence level, dark blue: decreasing trend at 95% confidence level, light blue: decreasing trend at the 90% confidence level

		Test Z											
		اراک Arak	ساوه Saveh	تفرش Tafresh	خمین Khomeyn	شازند Shazand	دلیجان Delijan	محلات Mahallat	کمیجان Komeijan	فرمهین Farmahin	خنداب Khondab	غرق‌آباد Ghaqabad	آشتیان Ashtiyan
ماهانه Monthly	فروردین 20Mar-19Apr	1.39	1	1.34	1.07	0.65	0.61	0.77	0.93	1.46	1.27	1.07	1.02
	اردیبهشت 20Apr-20May	-1.16	-1.66	-0.85	-1.66	-1.36	-1.60	-1.71	-1.43	-1.41	-0.66	0.42	0.88
	خرداد 21May-20June	-0.98	-1.08	0.02	-0.20	-1.40	-0.74	-0.74	0.61	0.22	1.13	0.15	-0.08
	تیر 21June-21July	-0.82	-0.74	0.91	2.42	0.18	-0.83	0.87	0.61	-1.00	1.52	0.87	0.94
	مرداد 22July-21Aug	0.58	0	-0.54	0.47	1.62	0.53	-0.53	1.77	0.62	0.12	-0.08	0.95
	شهریور 22Aug-22Sep	-0.16	0.90	0.36	0.38	0	-0.42	-0.15	0.63	0.90	0.06	-0.34	0.40
	مهر 23Sep-22Oct	-0.33	-0.22	-0.10	0.18	-0.04	-0.42	0.54	0.36	0.06	-0.16	-0.33	0.04
	آبان 23Oct-21Nov	1.12	1.46	1.92	1.73	1.02	1.34	1.57	1.21	1.28	1.26	1.31	1.69
	آذر 22Nov-21Dec	0	-0.41	-0.44	0.46	0.02	0.89	-0.61	1.11	0.14	0.63	0.07	0.92
	دی 22Dec-20Jan	-0.03	-0.54	-0.34	-0.12	-0.17	0.26	-1.18	-1.43	0.00	-0.51	-0.37	-0.25
	بهمن 21Jan-19Feb	-1.65	-1.77	-1.48	-1.75	-0.48	-2.08	-2.16	-1.21	-1.20	-1.19	-1.84	-0.23
	اسفند 20Feb-19Mar	-0.75	-0.41	-0.82	-0.09	-0.37	0.14	-1.03	-0.54	0.05	0.02	1.31	1.08
فصلی Seasonal	بهار Spring	0.31	-0.39	0.24	-0.04	-0.07	0.10	-0.82	0.43	0.43	0.48	1.41	1.21
	تابستان Summer	-0.73	0.73	0.69	1.13	0.43	0.04	-0.69	1.13	0.23	0.23	-0.18	0.49
	پاییز Autumn	1.29	0.93	1.50	1.37	1.31	1.09	0.52	1.82	1.03	1.43	0.77	1.52
	زمستان Winter	-1.36	-1.53	-1.58	-1.21	-0.17	-0.49	-2.07	-1.50	-0.21	-0.44	-0.52	0.50
	سالانه Anual	-0.73	-1.18	-0.92	-0.75	-1.33	-0.08	-2.28	-0.02	-0.14	0.54	1.02	1.96

جدول ٦- آستانه بارش فرین میانگین ۳۰ساله در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Table 6- Extreme precipitation threshold average of 30 years in meteorological stations of Markazi province

آستانه بارش فرین میانگین ۳۰ساله ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Extreme precipitation threshold average of 30 years of meteorological stations of Markazi province

نام ایستگاه Name	اراک Arak	ساوه Saveh	تفرش Tafresh	خمین Khomeyn	شازند Shazand	دلیجان Delijan	محلات Mahallat	کمیجان Komeijan	فرمهین Farmahin	خنداب Khondab	غرق‌آباد Ghaqabad	آشتیان Ashtiyan
Rwn95 (mm)	21	15	17	21	28	15	19	17	16	21	17	18

جدول ۷- بیشینه و کمینه R95pT در دوره ۳۰ ساله در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Table 7- The maximum and minimum of R95pT in the 30-year period in the meteorological stations of Markazi province

	اراک **Arak**	ساوه **Saveh**	تفرش **Tafresh**	خمین **Khomeyn**	شازند **Shazand**	دلیجان **Delijan**	محلات **Mahallat**	کمیجان **Komeijan**	فرمهین **Farmahin**	خنداب **Khondab**	غرق‌آباد **Ghaqabad**	آشتیان **Ashtiyan**
Max R95pT	60	59	48	57	62	58	50	54	49	45	45	54
Min R95pT	10	7	11	15	11	9	8	8	8	7	8	10

جدول ۸- نمونه‌هایی از چهار شاخص بارش فرین محاسبه شده در دوره مورد مطالعه (۱۳۷۰-۱۳۷۱ تا ۱۳۹۹-۱٤۰۰)

Table 8- Examples of four extreme precipitation indices calculated in the studied period (1370-1371 to 1399-1400)

ایستگاه **Station**	سال **Year**	**R95p (mm)**	**R95d (days)**	**AEPI (m/day)**	**R95pT (%)**
اراک Arak	1397	317.4	10	31.74	60
ساوه Saveh	1377	87.2	4	21.8	59
	1373	132.3	6	22.05	51
	1397	128.2	5	25.64	44
تفرش Tafresh	1370	220.5	8	27.56	48
	1378	135.2	4	33.8	48
	1397	167.6	5	33.52	37
خمین Khomeyn	1378	82.1	2	41.05	57
	1380	251.6	8	31.45	52
	1397	249.2	8	31.15	49
شازند Shazand	1378	217	5	43.4	62
	1379	189.2	5	37.84	50
	1397	481.8	12	40.15	50

ایستگاه **Station**	سال **Year**	**R95p (mm)**	**R95d (days)**	**AEPI (m/day)**	**R95pT (%)**
دلیجان Delijan	1380	160.7	5	32.14	58
	1397	79.6	4	19.9	27
محلات Mahallat	1378	90.2	2	45.1	50
	1397	107.4	4	26.85	29
کمیجان Komeijan	1378	100	3	33.33	54
	1397	240.5	7	34.36	46
فرمهین Farmahin	1378	111.7	2	55.85	49
	1397	195.2	7	27.89	48
خنداب Khondab	1397	255.4	5	51.08	45
غرق‌آباد Gharqabad	1397	213.20	7	30.46	45
آشتیان Ashtiyan	1378	110	2	55	54
	1397	187.9	7	26.84	44

جدول ۹- سهم مقدار بارش فرین فروردین ماه از کل میانگین بارش فرین سالانه در دوره ۳۰ ساله بر حسب درصد در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی

Table 9- The share of the extreme precipitation in 20Mar-19Apr from the total average annual precipitation in the 30-year period in terms of percentage in the meteorological stations of Markazi province

اراک Arak	ساوه Saveh	تفرش Tafresh	خمین Khomeyn	شازند Shazand	دلیجان Delijan	محلات Mahallat	کمیجان Komeijan	فرمهین Farmahin	خنداب Khondab	غرق‌آباد Ghaqabad	آشتیان Ashtiyan
25	22.5	24.5	26.1	21.8	25	22.9	23.2	28.6	25.8	30	28

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر ویژگی‌های بارش در ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در دوره آماری سال زراعی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با روش‌های آماری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. سپس با نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های توزیع مکانی آنها ترسیم و بررسی و تحلیل شد. همچنین روند تغییرات بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت با توجه به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و افزایش وقوع بارش‌های فرین در مناطق مختلف دنیا، بارش فرین در مناطق مختلف این استان با استفاده از داده‌های بارش روزانه در بازه زمانی مورد مطالعه با استفاده از چهار شاخص بارش فرین مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که طبق بررسی توزیع مکانی بارش در استان مرکزی، بیشینه مقدار میانگین بارش سالانه در جنوب‌غرب استان مرکزی در ایستگاه شازند (۴۹۰/۱ میلی‌متر) و کمینه آن در مناطق شرقی استان به وقوع پیوسته است. توزیع مکانی بارش فصلی در استان مرکزی توزیعی مشابه توزیع سالانه بارش را نشان می‌دهد به‌جز در فصل تابستان که با مقادیر بارش میانگین فصلی تک رقمی، بیشینه بارش در محلات و کمیجان به‌ترتیب با میانگین بارش ۶/۷ و ۵/۸ میلی‌متر و کمینه آن در ساوه با مقدار ۲/۳ میلی‌متر رخ داده است. توزیع مکانی بارش سه ماه پاییز نشان می‌دهد که بطور متوسط مقدار بارش آذر ماه نسبت به ماه‌های مهر و آبان بیشتر است. همچنین در این سه ماه مقدار بارش در شرق استان نسبت به غرب استان کم‌تر می‌باشد. همچنین توزیع مکانی میانگین بارش در سه ماه زمستان نشان می‌دهد که در اسفند ماه مقدار بارش جنوب استان نسبت به دو ماه دیگر بیشتر است و در بهمن ماه مقدار بارش شمال استان نسبت به دو ماه دی و اسفند بیشتر است. در فصل بهار توزیع مکانی بارش همچنان مانند سایر ماه‌ها (به‌جز سه ماه کم بارش خرداد، تیر و مرداد)، میزان بارش در جنوب‌غرب استان بیشتر است و به سمت شمال و شرق مقدار وقوع بارش کاهش می‌یابد. قابل توجه است که در فروردین‌ماه میانگین بارش نسبت به کل ماه‌های سال بیشتر است. همچنین مقدار بارش در خردادماه نسبت به دو ماه اول بهار کاهش قابل توجهی دارد. در فصل تابستان توزیع مکانی بارش در تیرماه حاکی از وقوع مقدار بارش بسیار کم در سطح استان می‌باشد که بیشینه وقوع بارش در این ماه در دوره آماری مورد مطالعه در جنوب‌شرق و بخش‌هایی از غرب استان مرکزی است. همچنین توزیع مکانی مقدار بارش در ایستگاه‌های استان مرکزی در مردادماه بیانگر وقوع بارش‌های ناچیز در سطح استان مرکزی است. توزیع مکانی مقدار بارش در استان مرکزی در شهریورماه آخرین ماه سال زراعی حاکی از وقوع بارش‌های با مقدار ناچیز در سطح استان می‌باشد که در نیمه جنوبی استان مقدار این بارش‌ها بیشتر از نیمه شمالی استان است.

نتیجه بررسی روند تغییرات بارش ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال روند یکپارچه‌ای را نشان نمی‌دهد که با نتایج عطایی و فنایی (Ataee & Fanaee, 2012) که در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۶ تغییرات متغیر بارش را در چهار ایستگاه اراک، تفرش، ساوه و شمس‌آباد بررسی نمودند و هیچگونه روند سالانه و فصلی (تنها روند کاهشی در فصل تابستان در ایستگاه تفرش) را مشاهده نکردند، مطابقت دارد. در حالت کلی می‌توان گفت تقریبا در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی استان مرکزی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند حداقل در سطح اطمینان ۹۰٪ در بارش بهمن ماه روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد.

بررسی مقادیر بیشینه شاخص R95pT نشان می‌دهد که در بعضی از سال‌ها مقدار بارش فرین که در تعداد روز کمی اتفاق افتاده است سهم زیادی از بارش سال مربوطه را شامل می‌شود. به طور متوسط بیشینه شاخص R95pT، ۵۳ در صد از بارش سال را شامل می‌شود که در صورت آگاهی از زمان وقوع این فرین‌ها مدیریت این سیلاب‌ها و استفاده بهینه از منابع آبی از نتایج آن است. همچنین بیشترین مقدار بارش فرین در هر یک از ۱۲ ایستگاه مورد بررسی در فروردین ماه رخ داده است که سهم بارش فرین از کل بارش فرین سالانه بین ۲۱/۸ در صد در ایستگاه شازند تا ۳۰ در صد در ایستگاه غرق‌آباد قرار دارد. همچنین با توجه به بارش‌های فرین رخ داده در اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین‌ماه ۱۳۹۸ در منطقه وسیعی از کشور، شاخص‌های بارش فرین در این سال نیز بررسی شده است. در این سامانه فعال در روزهای اوج فعالیت (دهم تا سیزدهم فروردین سال زراعی ۱۳۹۷ (فروردین ۱۳۹۸))، شدت بارش در استان‌های غربی کشور شامل استان‌های ایلام، لرستان، همدان، کرمانشاه، البرز، چهارمحال و بختیاری، مرکزی، کهکیلویه و بویراحمد، زنجان کردستان، آذربایجان غربی و فارس بوده است و منجر به وقوع سیل در مناطق زیادی از غرب کشور شده است. بیشینه بارش در روز ۱۲

فروردین و به میزان ۱۵۵ میلی‌متر در ایســتگاه نهاوند اســتان همدان گزارش شــده اســت. در اســتان مرکزی بیشــینه بارش در این روز در خنداب به میزان ۹۳/۸ میلی‌متر و کمینه آن در شرق ا ستان مرکزی و در دلیجان به میزان ۱۸ میلی‌متر رخ داده است.

منابع

1. Alizadeh, A. (2015). *Principles of applied hydrology*, Imam Reza University Publications.
2. Ataee, H., & Fanaee, R. (2012). Studying the climate change of Markazi province by Mann-Kendall method. *Nivar*, *36*(77-76), 37-48.
3. Behnia, M.R. (1997). *Cold season cereals wheat, barley, oat, rye*. Tehran University Publications.
4. Allan, R.P., & Soden, B.J. (2008). Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science*, *321*(5895), 1481–1484. https://doi.org/10.1126/science.1160787
5. Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., Afzaal, M., Pianmana, T., Gomboluudev, P., Huong, P.T.T., Lias, N., Kwon, W-.T., Boo, K-.O., Cha, Y-.M., & Zhou, Y. (2009). Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007. *International Journal of Climatology*, *29*(13), 1906–1925. https://doi.org/10.1002/joc.1979
6. Cui, D., Wang, C., & Santisirisomboon, J. (2019). Characteristics of extreme precipitation over eastern Asia and its possible connections with Asian summer monsoon activity. *International Journal of Climatology*, *39*(2), 711–723. https://doi.org/10.1002/joc.5837
7. Dollan, I.J., Maggioni, V., & Johnston, J. (2022). Investigating temporal and spatial precipitation patterns in the Southern Mid-Atlantic United States. *Frontiers in Climate*, *3*. https://doi.org/10.3389/fclim.2021.799055
8. Ebodé, V.B. (2022). Analysis of the spatio-temporal rainfall variability in Cameroon over the period 1950 to 2019. *Atmosphere*, *13*(11), 1769. https://doi.org/10.3390/atmos13111769
9. Fatichi, S., & Caporali, E. (2009). A comprehensive analysis of changes in precipitation regime in Tuscany. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *29*(13), 1883-1893. https://doi.org/10.1002/joc.1921
10. Halabian, A., & Ghasemi Siani, A. (2021). Analysis of the spatial and temporal trend in precipitation on Caspian basin using GPCC data. *Watershed Engineering and Management*, *13*(2), 283-294. http://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.125399.1610
11. Han, H., Hou, J., Jiang, R., Gong, J., Bai, G., Kang, Y., Qi, W., Li, Y., & Li, B. (2021). Spatial and temporal variation of precipitation characteristics in the semiarid region of Xi'an, northwest China. *Journal of Water and Climate Change*, *12*(6), 2697–2715. https://doi.org/10.2166/wcc.2021.048
12. Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin: London, UK.
13. Ling, M., Han, H., Wei, X., & Lv, C. (2021). Temporal and spatial distributions of precipitation on the Huang-Huai-Hai Plain during 1960–2019, China. *Journal of Water and Climate Change*, *12*(6), 2232–2244. https://doi.org/10.2166/wcc.2021.313
14. Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, *13*, 245-259.
15. Mir Mosavi, H., Doustkamian, M., & Setode, F. (2016). Analyzing spatial autocorrelation patterns of heavy and super heavy showers of Iran. *Geography and Environmental Planning*, *27*(3), 67-86. http://doi.org/10.22108/gep.2017.97958
16. Papalexiou, S.M., & Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, *55*, 4901–4914. https://doi.org/10.1029/2018WR024067
17. Panahi, A., Hosseini, S. M., Khoramabadi, F., & Ghavibonyad, F. (2021). The study of spatial-temporal changes in the trend of autumn precipitation in Northwest Iran. *Climate Change Research*, *2*(8), 67-82. http://doi.org/10.30488/ccr.2021.320407.1066
18. Peng, Y., Zhao, X., Wu, D., Tang, B., Xu, P., Du, X., & Wang, H. (2018). Spatiotemporal variability in extreme precipitation in China from observations and projections. *Water*, *10*(8), 1089. https://doi.org/10.3390/w10081089
19. Rasooli, A. A., Roshani, R., & Ghasemi, A. R. (2013). Analyzing the spatial-temporal changes of annual precipitation of Iran. *Geographical Researches*, *28*(1), 205-224.
20. Shiu, C.-J., Liu, S. C., Fu, C., Dai, A., & Sun, A. (2012). How much do precipitation extremes change in a warming climate? *Geophysical Research Letters*, *39*(17), L17707. https://doi.org/10.1029/2012GL052762
21. Tang, B., Hu, W., & Duan, A. (2021). Future projection of extreme precipitation indices over the Indochina Peninsula and South China in CMIP6 models. *Journal of Climate*, *34*(21), 8793-8811. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0946.1
22. Wang, Y., Ding, Y.Y., & Miao, Q.L. (2012). Spatial and temporal variations of extreme precipitation events in Northeast China. *Advanced Materials Research*, *573–574*, 395–399. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.573-574.395
23. Wu, C., Huang, G., Yu, H., Chen, Z., & Ma, J. (2013). Spatial and temporal distributions of trends in climate extremes of the Feilaixia catchment in the upstream area of the Beijiang River Basin, South China. *International*

Journal of Climatology, *34*, 3161–3178. https://doi.org/10.1002/joc.3900
24. Zhai, P., Zhang, X., Wan, H., & Pan, X. (2005). Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, *18*(7), 1096-1108. https://doi.org/10.1175/JCLI-3318.1
25. Zhang, K., Pan, S., Cao, L., Wang, Y., Zhao, Y., & Zhang, W. (2014). Spatial distribution and temporal trends in precipitation extremes over the Hengduan Mountains region, China, from 1961 to 2012. *Quaternary International*, *349*, 346–356. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.04.050
26. Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., Trewin, B., & Zwiers, F.W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *2*(6), 851–870. https://doi.org/10.1002/wcc.147
27. Zhang, X., Zhang, J., Zhang, X., Yang, M., Pan, X., Liu, C., & Yang, S. (2021). *Study on Precipitation Evolution Characteristics in Tongzhou District of Beijing in Recent 65 Years*. https://doi.org/10.3233/ATDE210206